

ANALISIS KEGAGALAN *TIEBAR* MESIN *INJECTION MOLDING* LIGUANG FL 170 DI PT X

*Dhani Luvian Renardi¹, Sri Nugroho², Rifky Ismail²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: dhaniluvian18@gmail.com

Abstrak

Kegagalan pada mesin *injection molding* dapat menyebabkan kerugian produksi karena berpengaruh pada kontinuitas dan kualitas hasil cetakan. Salah satu komponen kritis adalah *tiebar*, yang berfungsi menahan gaya *clamping* selama proses pengepresan. Penelitian ini menganalisis penyebab kegagalan *tiebar* pada mesin *injection molding* Liguang FL 170 di PT X yang patah setelah enam tahun beroperasi. Metode yang digunakan meliputi pengamatan visual (*fractography*), uji komposisi kimia dengan *spectrometry*, uji *metalografi*, uji kekerasan *micro-Vickers*, serta simulasi numerik menggunakan *Finite Element Analysis (FEA)*. Hasil *fractography* menunjukkan pola retak akibat beban siklik (*fatigue fracture*). Uji komposisi memastikan material sesuai standar baja paduan AISI 4145. Uji *metalografi* menemukan perbedaan pada area dekat dan jauh patahan, sedangkan uji kekerasan menunjukkan nilai relatif sama. Selain itu ditemukan *microcrack* pada ulir akibat proses *thread machining* yang kurang baik. Simulasi numerik menunjukkan tegangan maksimum 127 MPa, masih jauh di bawah *yield strength* AISI 4145. Kegagalan *tiebar* disimpulkan terjadi akibat kombinasi tegangan siklik berulang pada area ulir dengan cacat awal dari proses *thread machining*. Temuan ini menjadi acuan untuk evaluasi desain dan strategi perawatan mesin *injection molding* sejenis.

Kata kunci: *fatigue fracture; finite element analysis (fea); injection molding; kegagalan material; metalografi; tiebar*

Abstract

Failure in injection molding machines can lead to major production losses as it directly affects product continuity and quality. A critical component often experiencing failure is the tiebar, which withstands the clamping force during molding. This study analyzes the causes of tiebar failure in a Liguang FL 170 injection molding machine at PT X, which fractured after six years of service. The methods used include visual inspection (*fractography*), chemical composition testing (*spectrometry*), *metallography*, *micro-Vickers* hardness testing, and numerical simulation using *Finite Element Analysis (FEA)*. *Fractography* showed crack patterns typical of cyclic loading (*fatigue fracture*). Composition testing confirmed compliance with AISI 4145 alloy steel standards. *Metallography* revealed differences between areas near and far from the fracture, while hardness testing showed similar values. *Microcracks* were detected in the threaded area, attributed to poor *thread machining*. Numerical simulation indicated a maximum stress of 127 MPa, well below the yield strength of AISI 4145. The failure was concluded to result from cyclic stresses concentrated in the thread region, combined with defects initiated by inadequate *thread machining*. These findings confirm that material met standards, but machining quality critically influenced fatigue life. The study provides valuable reference for design evaluation and preventive maintenance of similar injection molding machines.

Keywords: *fatigue fracture; finite element analysis (fea); injection molding; material failure; metallography; tiebar*

1. Pendahuluan

Mesin molding injection adalah alat yang digunakan dalam proses pembuatan produk plastik dengan cara menyuntikkan material plastik cair ke dalam cetakan. Proses pencetakan dimulai dengan memanaskan butiran plastik hingga meleleh, kemudian menyuntikkannya ke dalam cetakan yang bertekanan tinggi. Setelah material mengisi cetakan, material didinginkan untuk membentuk produk akhir. Teknologi ini sangat penting dalam industri modern karena kemampuannya untuk memproduksi komponen plastik dengan presisi tinggi dan efisiensi yang baik. Mesin ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga digunakan untuk pembuatan berbagai bentuk dan ukuran produk yang kompleks, menjadikannya pilihan utama dalam produksi massal barang-barang plastik. Dalam industri saat ini, penggunaan mesin molding injection semakin meningkat seiring dengan tingginya permintaan produk plastik yang berkualitas. Mesin molding injection memiliki banyak keuntungan, termasuk siklus yang lebih cepat dan pengurangan limbah material.

Selain itu, mesin molding injection dapat dioptimalkan untuk berbagai jenis material, seperti polypropylene dan polyethylene terephthalate (PET), sehingga memperluas aplikasi penggunaannya di berbagai sektor, mulai dari otomotif hingga elektronik. Penelitian menunjukkan bahwa pemahaman mendalam tentang parameter proses, seperti tekanan injeksi, dan suhu cetakan, sangat penting untuk mencapai hasil cetakan yang optimal dan mengurangi cacat produk [6].

Analisis kegagalan yang dapat terjadi pada mesin molding injection sangat penting untuk menjaga efisiensi dan kualitas produksi. Mesin yang digunakan untuk memproduksi komponen plastik dengan cara menyuntikkan material cair ke dalam cetakan ini rentan terhadap berbagai jenis kegagalan yang dapat mengganggu proses produksi. Beberapa masalah umum yang sering muncul termasuk kegagalan mekanis pada komponen seperti pompa, silinder, atau sistem pemanas, yang dapat menyebabkan downtime yang signifikan. Menurut penelitian, kegagalan mendadak pada mesin ini sering kali disebabkan oleh kurangnya pemeliharaan preventif dan pengawasan yang tidak memadai terhadap kondisi operasional mesin. [7]

Pada tugas akhir ini, hal yang di analisis adalah kegagalan berupa patahan yang terjadi pada tiebar mesin injection molding Liguang FL 170 PT X. Mesin Injection molding ini sudah berusia kurang lebih 6 tahun, sudah beroperasi sejak bulan september 2018 dan mengalami patah pada bulan september 2024. Analisis ini dimasukkan untuk mengetahui faktor penyebab kegagalan, mekanisme kegagalan dan memberikan solusi jika data yang didapat mencukupi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Mesin Injection Molding

Injection molding adalah salah satu metode manufaktur yang banyak digunakan dalam produksi massal produk plastik. Proses ini dilakukan dengan melelehkan bahan baku plastik, seperti Polypropylene (PP), hingga mencapai bentuk cair, kemudian menginjeksikannya ke dalam cetakan menggunakan tekanan tinggi. Setelah rongga cetakan terisi sepenuhnya, bahan plastik akan mengalami proses pendinginan hingga mengeras dan membentuk produk akhir sesuai desain. [1]

Mesin injection molding terdiri dari tiga bagian utama, yaitu unit injeksi, cetakan, dan sistem penjepit. Unit injeksi, yang juga dikenal sebagai plasticator, berperan dalam mencairkan plastik secara optimal sebelum disalurkan ke dalam cetakan. Metode ini memiliki berbagai keunggulan, seperti kecepatan produksi yang tinggi, ketepatan dimensi produk yang baik, serta efisiensi dalam menghasilkan produk dalam jumlah besar dengan biaya produksi yang relatif rendah. Oleh karena itu, *injection molding* menjadi pilihan utama dalam berbagai industri [1].

Dalam prosesnya, mesin injection molding menjalankan beberapa tahapan penting. Tahap pertama adalah pelelehan plastik di dalam plasticator melalui pemanasan. Setelah itu, plastik cair disuntikkan ke dalam cetakan dengan tekanan yang telah diatur. Setelah cetakan terisi, tekanan tetap dipertahankan untuk menghindari aliran balik serta mengimbangi penyusutan yang terjadi selama pendinginan. Plastik kemudian didinginkan hingga cukup keras agar dapat dikeluarkan dari cetakan. Namun, jika material yang digunakan adalah termoset, cetakan akan dipanaskan hingga bahan tersebut mengeras. Setelah produk terbentuk sempurna, cetakan akan dibuka, produk dikeluarkan, dan cetakan kembali ditutup untuk melanjutkan siklus produksi berikutnya [1].

Material yang umum digunakan dalam proses ini adalah plastik jenis termoplastik karena sifatnya yang fleksibel dan mudah dibentuk. Salah satu jenis termoplastik yang paling banyak dipilih adalah polypropylene, yang memiliki karakteristik ringan, tahan korosi, serta kekuatan mekanis yang baik. Selain itu, material ini juga mampu bertahan pada suhu tinggi, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan panas [1].

2.2 Bagian Bagian Mesin Injection Molding

Injection unit merupakan bagian mesin yang berfungsi untuk mencairkan plastik dan melakukan proses injeksi plastik ke dalam mold. Bagian ini terdiri dari beberapa komponen utama. Feed hopper berfungsi sebagai wadah penampung plastik yang akan dipanaskan dan dicairkan untuk dialirkan ke screw. Dalam hopper, bahan dipanaskan oleh aliran udara dari blower yang didukung elemen pemanas (heater) untuk menghilangkan kandungan air dalam bahan baku, karena keberadaan air dapat menyebabkan hasil cetakan tidak sempurna. Injection ram bertugas memberikan tekanan pada plastik cair agar masuk ke dalam rongga mold. [3]

Selanjutnya, barrel berperan sebagai saluran utama yang mengalirkan plastik cair dari hopper melalui screw ke mold. Di dalam barrel terdapat dua heater yang menjaga temperatur resin tetap sesuai dengan kebutuhan proses injeksi. Injection screw mengatur aliran resin dari hopper menuju mold. Putaran screw menyebabkan bahan terkumpul di ujung screw sebelum diinjeksikan. Setelah itu, screw akan mundur sesaat kemudian maju untuk mendorong bahan cair dalam barrel ke arah nozzle. Sedangkan injection cylinder dihubungkan ke motor hidrolik untuk memberikan tenaga injeksi sesuai karakteristik resin dan tipe produk, dengan kecepatan dan tekanan yang diperlukan. [3]

Clamping unit merupakan bagian mesin tempat mold dipasang, membuka dan menutup mold secara otomatis, serta mengeluarkan produk yang telah terbentuk. Komponen penyusunnya antara lain injection mold yang berfungsi sebagai cetakan produk, dengan dua tipe yaitu cold runner dan hot runner. Selanjutnya, injections platens berupa plat baja sebagai dudukan mold, terdiri atas plat diam (stationary) dan plat bergerak (moveable) yang digerakkan oleh sistem hidrolik untuk membuka dan menutup mold. Clamping cylinder memberikan tenaga clamping dengan bantuan pneumatik dan hidrolik [3].

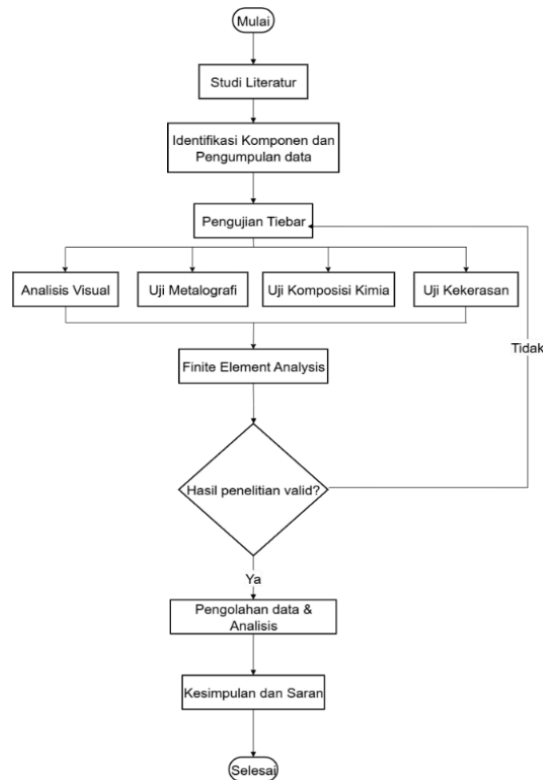
2.3 Fatigue Fracture

Fraktur kelelahan (fatigue fracture) dianggap sebagai jenis keretakan paling serius pada komponen mesin karena dapat terjadi selama kondisi operasi normal tanpa beban berlebih. Fraktur ini bersifat tersembunyi dan sering kali muncul tanpa tanda peringatan. Risiko terjadinya meningkat jika terdapat beban berlebih, lingkungan korosif, atau kondisi abnormal lainnya. Fatigue didefinisikan sebagai fenomena retak akibat tegangan berulang atau fluktuatif yang nilainya lebih rendah dari kekuatan tarik material. Retak dimulai dari celah mikro yang tumbuh secara bertahap akibat tegangan siklik. Proses ini dipengaruhi oleh perubahan submikroskopis dalam struktur kristal logam yang terus berkembang menjadi retakan besar. Patahan lelah terjadi melalui tiga tahap, yaitu tahap

initiation (inisiasi), saat retakan kecil mulai terbentuk di permukaan; tahap propagation (propagasi), di mana retakan tumbuh perlahan mengikuti siklus pembebanan; dan tahap final rupture (keruntuhan akhir), ketika retakan mencapai ukuran kritis dan menyebabkan patahan total [11].

3. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa langkah-langkah pengujian untuk melakukan analisis terhadap Tiebar Mesin Injection Molding. Gambar 1 menunjukkan langkah-langkah dalam penelitian ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3.1 Bahan

Digunakan beberapa jenis bahan berbeda sebagai spesimen penelitian dan pembuatan pahat. Berikut bahan yang digunakan untuk penelitian kali ini:

- Tiebar Mesin Injection Molding LIGUANG FL 170 PT
Sampel uji yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah tiebar Mesin Injection Molding LIGUANG FL 170 PT yang mengalami kegagalan.
- Resin dan Katalis
Resin dan katalis digunakan dalam proses pembuatan mounting sampel uji pada tahap preparasi.
- Metal Polish Cream
Metal Polish Cream merupakan krim yang digunakan untuk memoles permukaan sampel uji dalam pengujian metalografi guna memperoleh hasil permukaan yang halus dan optimal.

3.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah

- Mikroskop Makrografi
- Mesin Grinding and Polishing
- Mikroskop Optik
- Spektrometer
- Microvickers Hardness Tester
- Gelas Beaker
- Pipet
- Amplas
- Kain Beludru
- Metalographic Cutting Machine

3.3 Pengujian Makrografi

Pengamatan visual dilakukan dengan menganalisis area patahan pada tiebar mesin injection molding dalam skala pembesaran rendah untuk memperoleh gambaran awal dalam proses investigasi. Melalui pengamatan ini, diharapkan dapat teridentifikasi tanda-tanda awal kegagalan yang terlihat secara makroskopis pada komponen, seperti inisiasi retak, propagasi retak, hingga retakan akhir. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Departemen Teknik Mesin UNDIP, menggunakan mikroskop optik dengan tingkat pembesaran 10x, 20x, dan 30x. Berikut Gambar 2 merupakan alat mikroskop makrografi.



Gambar 2. Mikroskop Makrografi

3.4 Pengujian Microvickers



Pengujian kekerasan dilakukan pada tiebar dekat patahan dan tiebar jauh dari patahan untuk mengetahui sebaran nilai kekerasan pada masing-masing spesimen.. Metode pengujian yang digunakan adalah Vickers, dengan pembebanan sebesar 4.903 N (HV0.5) dalam waktu 15 detik.

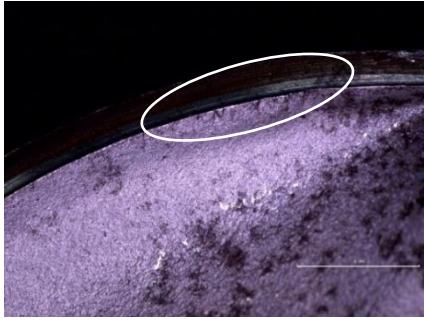
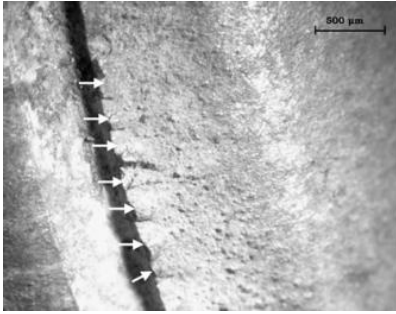
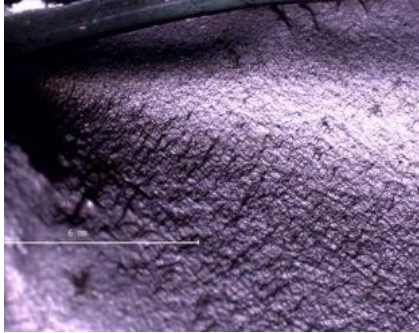
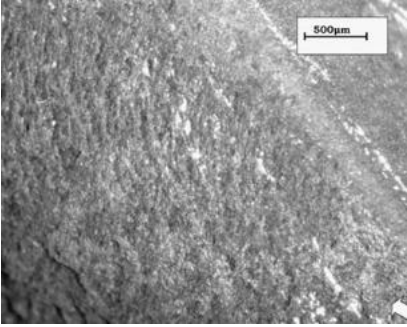
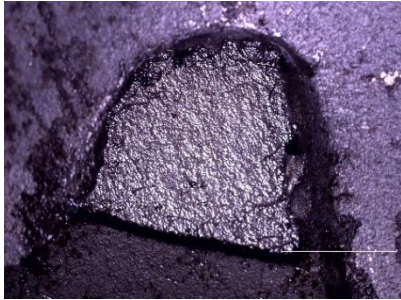
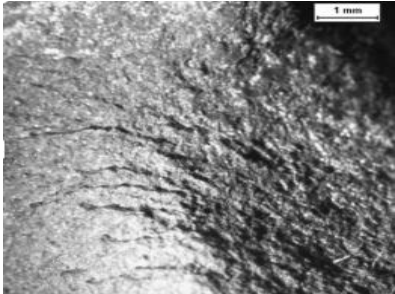
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian makrografi

Berdasarkan hasil pengujian makrografiyang telah dilakukan kepada spesimen yang sudah dibuat didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 1. Data Hasil Uji Makrografi

Foto Hasil Uji makrografi	Foto Refrensi Pemanding
	
Permukaan Patahan Tiebar	Permukaan Patahan Tiebar [9]

	
Pola Ratchet Marks	Pola Ratchet Marks [9]
	
Penyebaran Retakan	Penyebaran Retakan [9]
	
Area Patahan Akhir	Area Patahan Akhir [9]

4.2 Hasil Pengujian Microvickers

Pengujian microvickers dilakukan pada spesimen ulir dekat patahan dan juga jauh dari patahan. Pengujian dilakukan dari ujung spesimen ulir menuju ketengah spesimen dengan jarak ± 0.3 mm. Berikut tabel 2 merupakan hasil dari pengujian microvickers.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Microvickers

Jarak dari ujung spesimen ulir (mm)	Nilai kekerasan spesimen <i>tiebar</i> jauh dari area patahan (HV)	Nilai kekerasan spesimen <i>tiebar</i> jauh dari area patahan (HV)
0	334	310
0,3	310	322
0,6	315	322
0,9	305	298
1,2	319	313
Rata -Rata	320,2	313

hasil pengujian microvickers pada spesimen ulir dekat patahan dan juga jauh dari patahan ditemukan bahwa rata-rata kekerasan spesimen ulir dekat patahan relatif sama dibanding dengan rata-rata kekerasan spesimen ulir jauh dari patahan sehingga perbedaan nilai tersebut dapat dikatakan tidak signifikan.

4.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan pada patahan tiebar, terdapat beberapa indikasi patahan yang dapat dijadikan gambaran awal investigasi untuk mengetahui penyebab kegagalan yang terjadi. Hasil pengujian fraktografi menunjukkan adanya pola ratchet marks yang merupakan ciri khas dari patah lelah (fatigue fracture) sebagaimana dijelaskan oleh [11]. Selain itu, pada spesimen uji makrografi juga ditemukan pola serupa yang memperkuat indikasi terjadinya mekanisme patah lelah pada komponen tersebut.

Selanjutnya, perambatan retak (crack propagation) teridentifikasi jelas pada spesimen uji makrografi, yang memperlihatkan perkembangan retakan dari awal hingga tahap lanjut. Area patahan akhir (final rupture) yang menjadi ciri khas patah lelah juga terlihat pada spesimen, terutama pada bagian ulir. Proses patah pada zona final rupture ini terjadi secara cepat, dan area tersebut dapat diamati secara jelas pada spesimen tanpa bantuan mikroskop.

Dari hasil uji kekerasan microvickers ditemukan kekerasan, area dekat patahan dan area jauh dari patahan mempunyai rata-rata kekerasan yang relatif sama, maka dari itu heat treatment bisa disimpulkan dilakukan dengan baik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengamatan visual (fraktografi) menunjukkan adanya ciri khas patahan lelah (fatigue fracture), dengan ditemukannya inisiasi retakan (initiation crack), penyebaran retakan (propagation), area patahan akhir (final rupture) dan juga ratchet marks. Hal ini menegaskan bahwa kegagalan terjadi akibat beban siklik berulang dalam jangka waktu lama, bukan karena beban statis berlebih sesaat.
2. Uji kekerasan *Microvickers* menunjukkan rata-rata kekerasan pada area dekat patahan sebesar 320,2 HV, relatif sama dibanding area jauh dari patahan sebesar 313 HV perbedaan ini tidak signifikan.
3. Kegagalan tiebar terjadi akibat kombinasi beban siklik berulang selama operasi, konsentrasi tegangan pada ulir dan proses thread machining yang tidak optimal, yang menyebabkan inisiasi retak di area ulir, yang kemudian merambat secara bertahap hingga tiebar mengalami patah total.

6. Daftar Pustaka

- [1] Firmasnyah, F., Umardani, Y., & Suprihanto, A. (2023). Pembuatan injection unit mesin injection molding untuk membuat bantalan ketiak tongkat kruk dari material polypropylene. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*.
- [2] Ihlas, A., Fajar Puspita, D., & Tjahjohartoto, B. (2018). *Fractography investigation and stress analysis on failure of bolt M64 grade 10.9 due to over tightening*.
- [3] Maman, A. (2012). *Analisis konsumsi energi pada proses injection moulding untuk efisiensi energi*.
- [4] Manurung, V., Wibowo, Y., & Baskoro, S. (2020). *Panduan metalografi*. LP2M Politeknik Manufaktur Astra.
- [5] Mizhar, S., Gerhana, D., & Tampubolon, B. (2015). Analisa kekerasan dan struktur mikro terhadap variasi temperatur tempering pada baja AISI 4140. In *Teknik Mesin ITM* (Vol. 1, Issue 2).
- [6] Nasrudin, & Permata, E. (2024). Analisis system kerja mesin injection molding Haitian Ma2000 pada produksi super mop di PT Bolde Makmur Indonesia. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 209–218. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.281>
- [7] Robbi Assabil, I. (2022). Analisis kerusakan mesin injection molding pada divisi maintenance di PT Jonan Indonesia. In *Ilmiah Teknik Mesin* (Vol. 02, Issue 02). <https://journal.unsika.ac.id/index.php/sigmat/index>
- [8] Saharil, & Samlawi, A. (2019). *Analisa patahan planetary pinion gear transmisi di unit excavator PC 300 LC-7 Komatsu*.
- [9] Sasikumar, C., Srikanth, S., & Das, S. K. (2006). Analysis of premature failure of a tie bar in an injection molding machine. *Engineering Failure Analysis*, 13(8), 1246–1259. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.11.003>
- [10] Sugito, Marliyan, S., & Apriana, H. (2022). Uji kinerja instrumen spektrofotometer serapan atom (AAS) shimadzu 6650 F terhadap p logam Fe, Zn pada kegiatan praktikum Kimia anorganik di UPT Laboratorium Terpadu UNS. *JOURNAL OF LABORATORY ISSN*, 5(2), 4887.
- [11] Wulpi, D. J. (1999). *Understanding how components fail*.